



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
COORDENAÇÃO DE PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA – PIBIC

**Estudo da performance na degradação fotocatalítica e
fotolítica do fármaco Aciclovir utilizando
semicondutores de TiO_2**

Área do conhecimento: Química
Subárea do conhecimento: Química Analítica
Especialidade do conhecimento: Fotocatálise

Relatório Final
Período da bolsa: de agosto de 2018 a julho de 2019

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica

PIBIC/FAPITEC

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS.....	9
3.	METODOLOGIA	10
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5-	CONCLUSÃO	31
6-	PERSPECTIVAS	31
7-	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
8-	OUTRAS ATIVIDADES	34

1. INTRODUÇÃO

A produção da indústria farmacêutica cresce cerca de 15% a cada ano, alcançando uma produção estimada em 1,3 milhões de toneladas de medicamentos. O Brasil é o nono maior mercado consumidor de fármacos e medicamentos do mundo e conta com importantes indústrias do setor em seu território. Segundo dados do Ministério da Saúde, o mercado farmacêutico movimenta anualmente R\$ 28 bilhões e a tendência é de expansão. O elevado consumo de fármacos deve-se a intensificação da utilização destes compostos na medicina humana e veterinária, bem como nas áreas da pecuária e aquicultura (Cristina, Oehninger, Caroline, Willig, & Ferreira, 2017). Em meio aos fármacos utilizados no tratamento de soropositivos o uso coadjuvante do aciclovir causou grande expectativa devido ao aumento de sobrevida desses pacientes. O antirretroviral é eficiente pois o vírus tratado não reconhece as nuances estruturais entre o aciclovir e as verdadeiras bases nitrogenadas e utiliza-o na construção de um “falso” DNA. Este DNA construído induz a morte do vírus por não conseguir desempenhar sua função adequadamente (Brito et al., 2014).

O (9-[(2-hidroxietoxi)metil]guanina), popularmente conhecido como aciclovir foi sintetizado pelos pesquisadores George Hitchings e Gertrude Elion, a partir da acetilação da guanina com anidrido acético representado na Figura 1. Estruturalmente, o aciclovir consiste no análogo sintético de nucleosídeos purínicos e é considerado um dos agentes antivirais mais eficazes e seletivos contra todos os tipos de herpes simples (Brito et al., 2014).

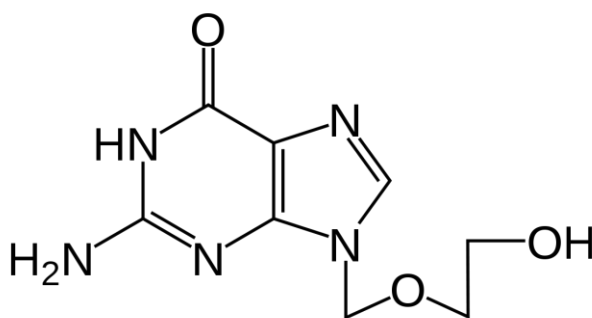


Figura 1: *Formula estrutural do fármaco Aciclovir*

O aciclovir é usado no tratamento de infecções pelo vírus Herpes simplex na pele e nas mucosas, incluindo herpes genital inicial e recorrente. É indicado também na supressão (prevenção de recidivas) de infecções recorrentes por Herpes simplex em pacientes imunocompetentes e na profilaxia de infecções por Herpes simplex em pacientes imunocomprometidos. O aciclovir também é usado

no tratamento de pacientes seriamente imunocomprometidos. O aciclovir possui solubilidade em água de $1,3 \text{ mg mL}^{-1}$, porém a solubilidade aumenta quando acrescenta-se etanol ou polietilenoglicol na solução ($2,7 \text{ mg mL}^{-1}$) e é facilmente solúvel em dimetilsulfóxido. O ponto de fusão do fármaco é 255°C (Rhein, 2013).

No meio ambiente, os fármacos podem ser encontrados em suas formas inalteradas (originais) ou na forma de metabólitos excretados por organismo humano ou animal. A utilização dos fármacos em sistemas de confinamento animal é uma prática já consolidada na agroindústria, seja como promotores de crescimento ou para controle do ciclo reprodutivo. (Lopes, 2014).

O contínuo aumento da presença de compostos farmacológicos nos mananciais de abastecimento representa uma das problemáticas mundiais do comprometimento da qualidade das águas destinadas para consumo humano e dos prejuízos inerentes sobre os ambientes aquáticos impactados por estes compostos (Torres et al., 2012). Devido ao consumo crescente de medicamentos aliado com suas propriedades físico-químicas, os fármacos são colocados em uma classe de poluentes emergentes mais preocupantes a nível ambiental (Cristina et al., 2017).

A preocupação com micropoluentes emergentes já vem de longa data. Na década de 1970, nos Estados Unidos, Garrison et al. (1976) e Hignite e Azarnoff (1977) realizaram estudos sobre fármacos no meio ambiente, encontrando-os em efluentes de estações de tratamento de esgoto (ETE), ácido clofíbico, metabólito dos antilipêmicos clofibrato e etofibrato, com concentrações em $\mu\text{g/L}$. Denominam-se de micropoluentes emergentes os contaminantes que só puderam ser detectados e quantificados recentemente por meio do desenvolvimento de novas técnicas analíticas sensíveis e mais complexas. Isto deve-se ao fato destes micropoluentes disponibilizarem-se em concentrações muito baixas na água, na faixa de $\mu\text{g/L}$ e ng/L , com sua toxicidade aquática a organismos terrestres ainda relativamente desconhecida. (Vettorello et al., 2017)

Com estas características, classificam-se como micropoluentes emergentes os fármacos e os agrotóxicos, amplamente utilizados nas lavouras brasileiras, os aceleradores de vulcanização, repelentes, hormônios naturais e sintéticos, os compostos químicos presentes em produtos de higiene pessoal, de limpeza, e outros diversos produtos químicos amplamente utilizados hoje em dia pela sociedade, aumentando cada vez mais a sua quantidade no ecossistema aquático. (Vettorello et al., 2017)

Fármacos disposto em resíduos sólidos comum, acabam contaminando e disseminando essa contaminação em lixões ou em aterros sanitários, impróprios

para esse tipo de resíduo, podendo contaminar o solo e efluentes. Vazadouro a céu aberto é a forma mais impactante ao meio ambiente e às populações vizinhas, disposição dos resíduos diretamente no solo, sem nenhum processo de controle que permita evitar a contaminação de lençóis freáticos e cursos de água, através dos líquidos percolados(dos Prazeres, Miranda, Santana, & da Silva Filho, 2016).

O lançamento de esgotos domésticos em águas superficiais é considerado a principal fonte de poluição de fármacos no meio ambiente. Mesmo em baixas concentrações, efeitos sub letais têm sido identificados em organismos aquáticos, vertebrados ou não. Esses efeitos são manifestados através de mudanças de comportamento e alterações endócrinas e reprodutivas, e ainda podem promoverem a elevação do fator de bioconcentração (FBC). Esse fator pode ser calculado dividindo-se o peso do composto no tecido do organismo pelo peso do composto presente na água. Essas formas químicas não originais podem afetar outros organismos que utilizem princípios fisiológicos semelhantes devido suas características hidrofílicas. Segundo Owen et al. (2009), apesar de ser desenvolvida para a utilização humana e/ou animal, a classe farmacêutica dos betabloqueadores pode provocar alterações nas atividades fisiológicas de organismos aquáticos que possuem receptores semelhantes, como os peixes.(Lopes, 2014)

Dessa forma, os problemas associados à contaminação da água e do solo são fontes de preocupação constante por parte tanto das autoridades, como da população. Com a escassez de recursos como a água potável e o crescimento populacional acelerado, a tendência é que problemas desta ordem cresçam em magnitude nos próximos anos (FLÓRIO, 2012). Fármacos disposto em resíduos sólidos comum, acabam contaminando e disseminado essa contaminação em lixões ou em aterros sanitários, impróprios para esse tipo de resíduo, podendo contaminar o solo e efluentes. Vazadouro a céu aberto é a forma mais impactante ao meio ambiente e às populações vizinhas, disposição dos resíduos diretamente no solo, sem nenhum processo de controle que permita evitar a contaminação de lençóis freáticos e cursos de água, através dos líquidos percolados(dos Prazeres et al., 2016). Estes compostos, quando em presença no solo e a água, podem provocar contaminação, que mesmo em uma rede de tratamento de esgoto não é removida completamente (Gláucia Maria Ferreira Pinto, 2014).

Alguns estudos apontam que a média de consumo humano chega a 700 litros de água por dia, e em alguns países mais desenvolvidos da Europa chega a 1.700 litros. Nos Estados Unidos, pode-se chegar a 8.000 litros diários para cada habitante. O problema da reutilização da água urbana implica em determinadas questões quando se precisa atender as necessidades humanas e proteger o meio ambiente. Os processos biológicos, por conseguirem tratar um maior volume de

efluente com uma grande eficiência em remoção de matéria orgânica e serem mais baratos, são os mais utilizados. Estes processos de desinfecção geralmente são a última etapa do ciclo de reuso da água e representam a última barreira contra os agentes patogênicos, devido a sua eficácia ser um ponto crucial para a proteção da saúde pública e é, certamente, o ponto mais importante na produção da passagem de água potável. Apesar de alcançar altas taxas de remoção de matéria orgânica, a taxa de biodegradabilidade de fármacos ainda está na ordem de 50% para sistemas convencionais de desinfecção ativado (Vettorello et al., 2017).

Além disso, há águas superficiais que recebem esgotos domésticos, tratados ou não, geralmente apresentarem baixas concentrações de fármacos, podendo os seres humanos estarem expostos a esses compostos seja através da ingestão de águas de abastecimento ou pelo consumo de plantas e tecidos animais que também foram expostos previamente. Outra forma possível contaminação ocorre pela via da irrigação com esgoto tratado ou pela via da própria ingestão de água contaminada. Esses contextos de exposição podem ocorrer de maneira crônica durante toda vida de um indivíduo e promover um aumento progressivo das concentrações sanguíneas desses compostos no seu organismo. Contudo, em níveis muito inferiores quando comparadas às concentrações recomendadas na terapêutica médica (Lopes, 2014).

A ocorrência de fármacos no ambiente foi relatada já em 1976 por Garrison e colaboradores que detectaram a presença de ácido clofíbrico em efluentes de estação de tratamento de esgotos (ETE) nos Estados Unidos da América (EUA)). Atualmente a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) mantém um sítio com informações sobre resíduos de fármacos e produtos de higiene pessoal no qual está disponível um documento que contém 8882 (dezembro/2009) referências de literatura relevante sobre fontes, ocorrência, efeitos e degradação/remoção destes micropoluentes (Bautitz, 2010)

No Brasil, um dos primeiros trabalhos publicados sobre a ocorrência de fármacos em ambientes aquáticos é de Stumpf e colaboradores (1999) que detectaram a presença de fármacos em efluentes de ETE em concentrações que variaram de 0,1 a 1,0 $\mu\text{g L}^{-1}$ e 0,02 a 0,04 $\mu\text{g L}^{-1}$ em águas superficiais. Neste mesmo trabalho foi avaliada a eficiência de remoção destes fármacos em ETE, a qual variou entre 12 e 90%. Atualmente existem grupos de pesquisa brasileiros monitorando esses micropoluentes em água, com alguns dados de ocorrência de fármacos em águas superficiais, em água potável e em efluentes hospitalares. Entretanto, esse monitoramento ainda é muito restrito visto a extensão territorial do Brasil. (Bautitz, 2010).

As ETE são planejadas para tratar águas residuais urbanas e industriais e a eficiência dessas estações é normalmente medida por parâmetros como remoção de nitrogênio, fosfato, patógenos, demanda bioquímica de oxigênio, material particulado e íons metálicos. No entanto, elas não são planejadas para remover quantitativamente outros poluentes, como é o caso de resíduos de fármacos. A maioria das ETE possui apenas processos de tratamento físicos e biológicos que normalmente são ineficazes na remoção destes resíduos (Bautitz, 2010)

Os processos de oxidação avançada (POAs) vêm sendo extremamente estudados e utilizados na destruição da estrutura química de compostos recalcitrantes que devem ser tratados por tecnologias não biológicas. Tecnologias que geralmente usam de técnicas convencionais de separação de fases (filtração, adsorção, etc) e métodos que destruam os contaminantes (redução química/oxidação). Diferente daqueles em que somente ocorre uma separação de fases, os métodos baseados na destruição química, quando desenvolvidos corretamente, proporcionam a completa destruição dos poluentes. Esses processos têm sido relatados como uma opção promissora para eliminar poluentes persistentes da água e efluentes quando processos convencionais não são eficientes. Baseando-se em processos físico-químicos, os POAs produzem mudanças na estrutura química dos poluentes e envolve a geração e uso de agentes altamente oxidantes, principalmente o radical hidroxila (HO^\bullet). Esses radicais apresentam propriedades que transformam os poluentes orgânicos, levando a sua mineralização em CO_2 , H_2O e ácidos minerais (Bassetto Carra, 2016).

As vantagens da fotocatalise são a velocidade das reações de degradação, a possibilidade de tratamento in situ, além da associação com outras técnicas (como pré ou pós-tratamento), bem como, a reutilização do material fotocatalítico. A fotocatalise heterogênea tem sido utilizada para mineralização de diferentes compostos orgânicos, como corantes, fármaco, agrotóxicos entre outros (De Mestrado & Salcedo, 2014).

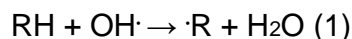
Nos processos fotocatalíticos são utilizados diversos fotocatalisadores como, por exemplo, TiO_2 , ZnO , CdS , ZnS , WO_3 , BiO_3 e Fe_2O_3 . Destes, o dióxido de titânio é o mais empregado, devido às seguintes características: não tem toxicidade, é resistente à corrosão, tem preço acessível, é abundante, é insolúvel em água, tem fotoestabilidade, possui estabilidade química em ampla faixa de pH e pode ser usado à temperatura ambiente (Lima, Lima, Vieira, & Silva, 2014). A eficiência de materiais fotocatalíticos, como o dióxido de titânio (TiO_2), para degradar contaminantes orgânicos no ar e na água, tem sido estudada há mais de 30 anos. O dióxido de titânio (TiO_2) tem sido amplamente utilizado como fotocatalisador para conversão de energia solar e aplicações ambientais e

materiais de construção como telhas, concreto, tintas e vidros devido às suas propriedades interessantes que incluem estabilidade química, boa transparência óptica, alto índice de refração custo e não-toxicidade(Haider, Al-Anbari, Kadhim, & Salame, 2017).

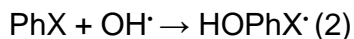
A fotocatalise heterogênea por semicondutores é um fenômeno que ocorre pela absorção de radiação incidente que possua fótons com energia superior ao band gap do material, induzindo a excitação de elétrons da banda de valência (BV) à banda de condução (BC), e gerando o chamado éxciton, formado pelas quais partículas elétrons (e^-) e lacunas (h^+), com capacidade de transporte e transferência de carga(Traps, Aplicações, & Química, 2019). A absorção de fótons com energia superior à energia de banda proibida resulta na promoção de um elétron da banda de valência para a banda de condução com geração concomitante de um buraco (h^+) na banda de valência. Estas lacunas mostram potenciais bastante positivos, na faixa de +2,0 a +3,5 V medidos contra um eletrodo de calomelano saturado, dependendo do semicondutor e do pH do meio. Este potencial é suficientemente positivo para gerar radicais hidroxilas (OH^\bullet), uma vez que este os radicais hidroxila possui o potencial de +2,72 V vs ENH (eletrodo normal de Hidrogênio), sendo gerados partir de moléculas de água adsorvidas na superfície do semicondutor (eq 1-3), os quais podem subsequentemente oxidar o contaminante orgânico. A eficiência da fotocatalise depende da competição entre o processo em que o elétron é retirado da superfície do semicondutor e o processo de recombinação do par elétron/lacuna o qual resulta na liberação de calor (eq.4) (Jardim, 1997):

De acordo com LEGRINI e colaboradores; os radicais hidroxila promove a oxidação dos compostos orgânicos basicamente por três mecanismos:

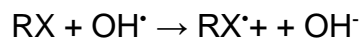
- 1) Abstração de átomo de hidrogênio: geralmente ocorre com hidrocarbonetos alifáticos e promove a formação de radicais orgânicos (Eq. 1).



- 2) Adição eletrofílica: adição de OH^\bullet a ligações π formando radicais orgânicos, ocorre geralmente com hidrocarbonetos insaturados ou aromáticos (Eq. 2).



- 3) Transferência eletrônica: ocorre normalmente com hidrocarbonetos halogenados (Eq. 3).



O mecanismo de processos redox mediado por semicondutores do tipo n como TiO_2 e WO_3 em meio aquoso é complexo, porém pode ser notado que na

maioria das condições não é o poder oxidante das lacunas propriamente dito que atua na oxidação de espécies orgânicas, e sim a formação do radical hidroxila (OH^\bullet), gerado pela promoção da oxidação da água/hidroxilas adsorvidas pela superfície do semiconductor. Como o radical hidroxila é um poderoso agente oxidante (+2,72 V vs ENH) torna-se altamente eficiente para oxidar a maioria dos compostos orgânicos. Dentro deste contexto, o processo de separação de cargas (e^-/h^+) fotoinduzido é uma das etapas mais importantes para ampliação da eficiência de um processo fotocatalítico. Considerando que a eficiência dos processos fotocatalíticos está relacionada ao tempo de vida dessas lacunas (h^+_{bv}) e retardamento da velocidade de recombinação das cargas geradas (e^-/h^+) no semiconductor, muitos estudos têm sido dedicados a esse enfoque.

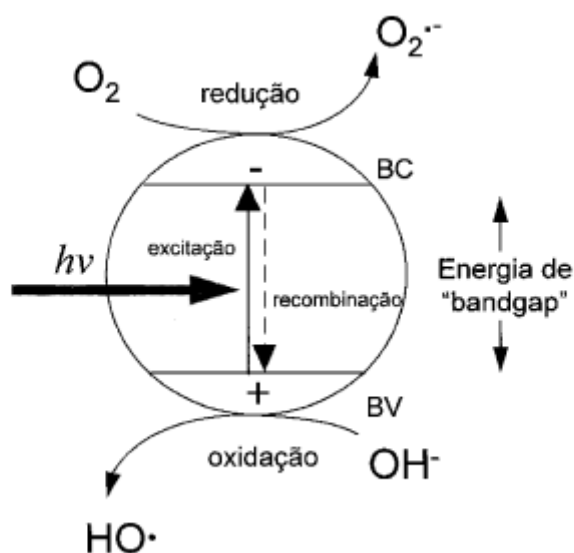
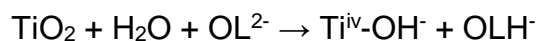
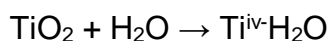


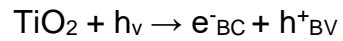
Figura 2: Esquema representativo da partícula de um semiconductor. **BV:** banda de valência; **BC:** banda de condução.

Os mecanismos envolvidos no processo fotocatalítico heterogêneo utilizando o semiconductor de dióxido de titânio (TiO_2) são representadas nas etapas abaixo de acordo com as equações (4-7) (Bennett, 2014)

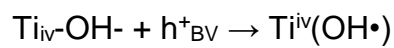
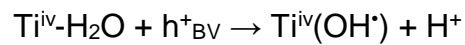
Equação 4: Adsorção da molécula de água na partícula do catalisador



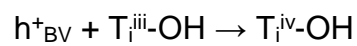
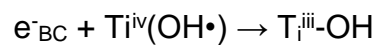
Equação 5: Excitação do semicondutor



Equação 6: Manutenção das cargas



Equação 7: Recombinação das cargas



Onde:

h^+ = buraco foto gerado;

e^- = elétron foto gerado;

OL^{2-} = oxigênio do retículo de TiO_2 .

2. OBJETIVOS

Objetivo geral

O presente projeto tem por objetivo avaliar a aplicação de semicondutores de TiO_2 no estudo da performance na degradação fotocatalítica e fotolítica do aciclovir.

Objetivos específicos

- Desenvolver metodologia analítica para o monitoramento do aciclovir;
- Avaliar as melhores condições fotocatalíticas, tais como: pH do meio, concentração do aciclovir, tempo de tratamento;
- Aplicar o semicondutor de Ti/TiO_2 na degradação do fármaco, sob irradiação na região do ultravioleta;
- Comparar as performances fotocatalítica e fotolítica na degradação do aciclovir;
- Monitorar a degradação do aciclovir através das análises de espectrofotometria UV-Vis;
- Avaliar a degradação fotocatalítica do aciclovir em amostras reais.

3. METODOLOGIA

3.1- Equipamentos

Os equipamentos utilizados em todo a execução do experimento, desde a otimização até a realização em amostra real foram: Espectrofotômetro UV-Vis Shimadzu de Corporation UV-1800 240V utilizada no monitoramento de degradação da solução do fármaco Aciclovir; Agitador magnético para homogeneização da solução; pHmetro Digital de bancada Kasvi Modelo: K39-1014B para ajustes e monitoramento de pH; Banho Maria Criostato - Mod. 521D para ajuste de temperatura do sistema reacional.

Vidrarias

As vidrarias utilizadas em todo a execução do experimento, desde a otimização até a realização em amostra real foram: Balão de aferição de 600 mL para preparo da solução de análise, Pipeta de aferição de 10 mL para retirada de alíquotas referentes ao preparo da curva analítica; Pipeta de aferição de 5 mL para retirada de alíquotas referentes ao preparo da curva analítica; Balão de aferição de 25 mL preparo de solução para estudo referente a curva analítica; Balão de aferição de 500 mL para preparo de solução para sistema reacional.

Materiais e Reagentes

Para o preparo das soluções de otimização e análise em amostra real foi utilizado o Fármaco Aciclovir fabricado pela empresa Henrifarma Produtos Químicos e Farmacêuticos Ltda. Foi utilizado também haste de sustentação e garras para propiciar maior estabilidade e segurança o sistema reacional , afim de evitar danos materiais .

3.2- Preparo das Soluções

Soluções da curva analítica

As soluções do fármaco aciclovir para a construção da curva analítica foram preparadas a partir de um reagente do fármaco, pesando-se 0,00118 g e transferindo para um balão de aferição de 25 mL com a total dissolução. Após o processo de homogeneização foram retiradas alíquotas para que houvesse o processo de diluição da solução estoque de concentração $2,5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ e consequentemente obteve as seguintes concentrações $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $4 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $7 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $8 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $9 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ para que em seguida, fossem realizadas as medidas de absorbância de cada solução através do espectrofotômetro UV-Vis molecular.

3.2.1- Solução do fármaco para processo fotocatalítico

As soluções do fármaco aciclovir para a realização do processo de degradação fotocatalítica foram preparadas soluções de concentração $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, pesando-se 0,056 gramas e transferida para o balão de aferição de 500 mL, no qual foi aferida ao menisco com água destilada em seguida a solução foi deixada em repouso para que a mesma fosse totalmente dissolvida.

3.2.2- Curva Analítica

A construção da curva analítica foi realizada via espectrofotometria UV-VIS molecular. Foram utilizados 9 pontos com soluções aquosas do fármaco aciclovir de concentrações $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $4 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $7 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $8 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $9 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$. Para isso foi realizado o seguinte procedimento:

Para a construção da curva analítica foram realizadas através das medidas dos sinais de absorção molecular das soluções do fármaco aciclovir, utilizando o programa UV probe 2.35, através do método simples de forma rápida em um intervalo de comprimento de onda de 200 a 800 nm. Para a realização dessas medidas, foi necessário a retirada de medida do branco com a utilização do solvente das soluções, sendo este, água destilada. Em seguida, efetuou-se a medida de absorbância das soluções do fármaco aciclovir das concentrações citadas acima, realizando a leitura das medidas de absorção molecular através do Espectrofotômetro UV-Vis. As medidas foram realizadas em triplicata.

3.4- Estudo de pH na degradação fotocatalítica do aciclovir

Os experimentos realizados para degradação fotocatalítica de amostras padrão do fármaco aciclovir foram conduzidos sob irradiação de lâmpada de vapor de mercúrio 125 W operando na região do ultravioleta. A influência da pH no qual

foram analisados em valores de 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10,0 foi analisada na concentração estabelecida da solução de aciclovir de $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$. O monitoramento da degradação fotocatalítica do fármaco foi realizado através de análises de alíquotas tomadas durante tempos determinados do experimento e analisado por espectrofotometria UV-Vis molecular.

3.5- Estudo de concentração na degradação fotocatalítica do aciclovir

Os experimentos realizados para degradação fotocatalítica de amostras padrão do fármaco aciclovir foram conduzidos sob irradiação de lâmpada de vapor de mercúrio 125 W operando na região do ultravioleta. No estudo da influência da concentração da solução de fármaco Aciclovir foram preparadas 4 soluções aquosas de 0,5 L do fármaco aciclovir de concentrações $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ e $5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ no qual, deixou a solução em tratamento durante 120 minutos, sendo monitorada durante o período de tratamento. O monitoramento da degradação fotocatalítica do fármaco foi realizado através de análises de alíquotas tomadas durante tempos determinados do experimento e analisado por espectrofotometria UV-Vis molecular.

3.6- Estudo de degradação fotocatalítica máxima do fármaco aciclovir

Os experimentos realizados para degradação fotocatalítica de amostras padrão do fármaco aciclovir foram conduzidos sob irradiação de lâmpada de vapor de mercúrio 125 W operando na região do ultravioleta. No estudo da influência da concentração da solução de fármaco Aciclovir foram preparadas 4 soluções aquosas de 0,5 L do fármaco aciclovir de concentrações $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ sendo que, deixou a solução em tratamento durante um período máximo de degradação do fármaco sendo totalizado 240 minutos, sendo monitorada durante o período de tratamento. O monitoramento da degradação fotocatalítica do fármaco foi realizado através de análises de alíquotas tomadas durante tempos determinados (0 min, 5 min, 10 min, 20 min, 40 min, 60 min, 90 min, 120 min, 150 min, 180, 210 min, 240 min) do experimento e analisado por espectrofotometria UV-Vis molecular.

3.7- Estudo de degradação fotocatalítica do fármaco aciclovir em amostra real

5.7.1- Coleta de amostra real para estudo

As amostras utilizadas para o estudo de fotocatalítico em amostra real foram coletadas no perímetro do rio Jacarecica II, sendo que esse perímetro está situado às margens do Rio Jacarecica, abrangendo os municípios de Malhador Areia Branca e Riachuelo, nos territórios Agreste Central e Grande Aracaju. A área do perímetro está totalmente contida na bacia do Rio

Jacarecica, no qual a barragem tem capacidade de acumulação de 30.4000.00 metros cúbicos.

As amostras foram coletadas seguindo a norma da Agencia Nacional das Águas (ANA) ANA nº 724, de 3 de outubro de 2011, seguindo os métodos propostos pelo órgão. Foram utilizadas baldes esterilizadas fornecidas pelo laboratório e transferidos para frascos âmbar. A coleta de amostra ocorreu de forma superficial, no qual foi introduzido o balde esterilizado na água, coletando amostra suficiente para preencher $\frac{3}{4}$ do frasco e posteriormente, a água sendo transferida para o frasco âmbar, imediatamente sendo realizado a identificação da amostra. As amostras foram acondicionadas em uma embalagem isotérmica, sob refrigeração em 4°C, e enviadas ao laboratório para análise.

3.7.1- Estudo da degradação em amostra real

Os experimentos realizados para degradação fotocatalítica de amostras padrão do fármaco aciclovir foram conduzidos sob irradiação de lâmpada de vapor de mercúrio 125 W operando na região do ultravioleta. Para o estudo de fotocatalítico em amostra real foi preparado uma solução aquosa do fármaco Aciclovir de concentração 1×10^{-5} mol L⁻¹, utilizando como solvente a amostra do afluente da sub-bacia do Jacarecica II, sendo realizado a homogeneização da solução, e posteriormente sendo realizado o tratamento durante um período de 240 minutos, sendo monitorada durante o período de tratamento. O monitoramento da degradação fotocatalítico do fármaco foi realizado através de análises de alíquotas tomadas durante tempos determinados do experimento e analisado por espectrofotometria UV-Vis molecular.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Curva analítica

Para o estudo do monitoramento da degradação fármaco aciclovir através dos processos oxidativos avançados, aplicando o método da fotocatalise heterógena no qual utiliza-se o catalisador de Ti/TiO_2 , foi construído uma curva analítica (**Figura1**) para o fármaco aciclovir, através de medidas de absorbância na região UV-Vis, em máxima absorbância (λ_{max}) no comprimento de onda de 250nm. A curva analítica apresenta uma equação da reta igual a $y=10655x+ 0,117$ e um coeficiente de correlação de 0,99916; de acordo com a figura a seguir.

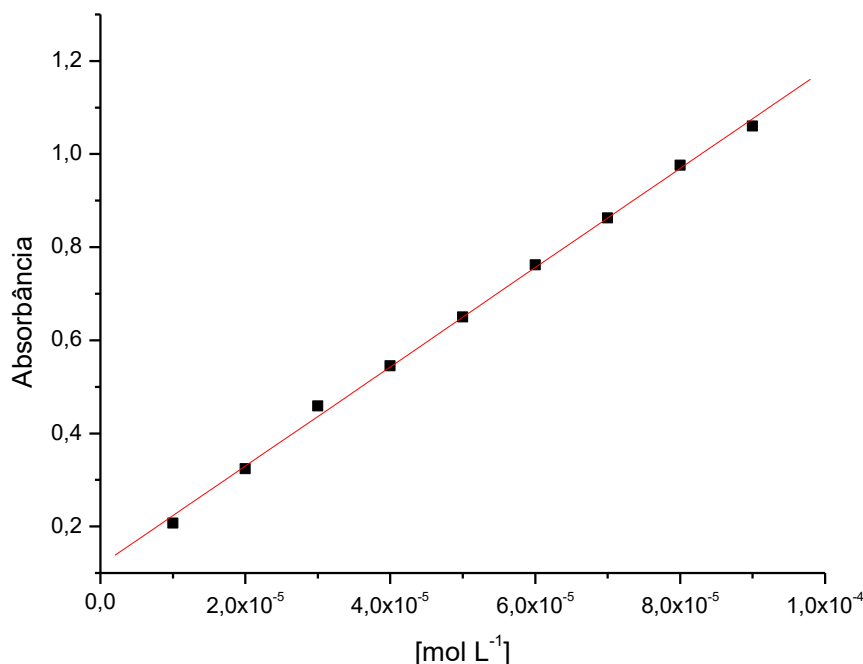


Figura 1: Curva analítica para o fármaco Aciclovir. $\lambda_{\text{max}} = 250 \text{ nm}$. Concentrações: $1,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $2,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $3,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $4,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $5,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $6,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $7,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $8,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $9,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$. ($n=3$)

4.2- Efeito de pH na degradação fotocatalítica do aciclovir

Os Processos oxidativos avançados (POA), são procedimentos no tratamento de efluentes, no qual utilizam da geração de espécies altamente oxidantes em geral radicais hidroxila, para promover uma degradação mais efetiva do poluente a ser tratado. (Núbia Natália de Brito, 2012). Os gráficos abaixo (2,3,4,5,6) ilustram o efeito dos valores de pH em meio ácido (2,0 e 4,0) próximos a neutro (6,0 e 8,0) e básico (10,0) estudados através dos respectivos espectros UV-Vis antes e após a oxidação fotocatalítica de $5,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ da solução

aquosa do fármaco aciclovir usando o fotocatalisador de Ti/TiO₂ sob irradiação da lâmpada de mercúrio de 125 W.

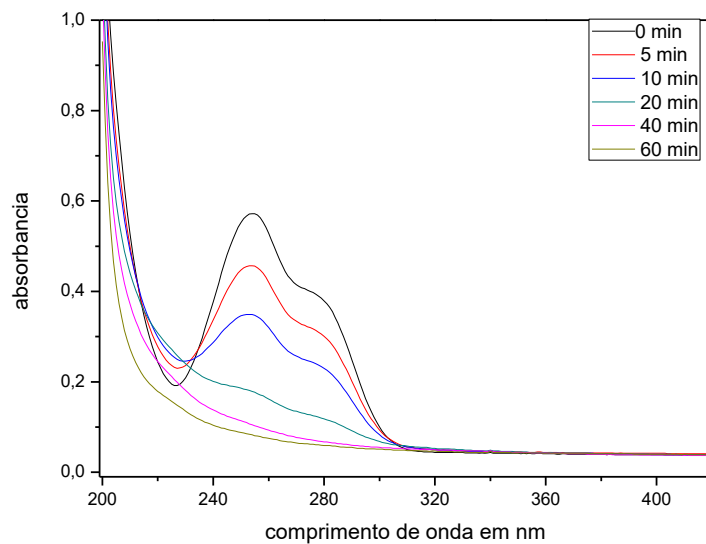


Figura 2: Perfil espectral da solução de pH 2 do fármaco aciclovir $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO₂, com duração de 60 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

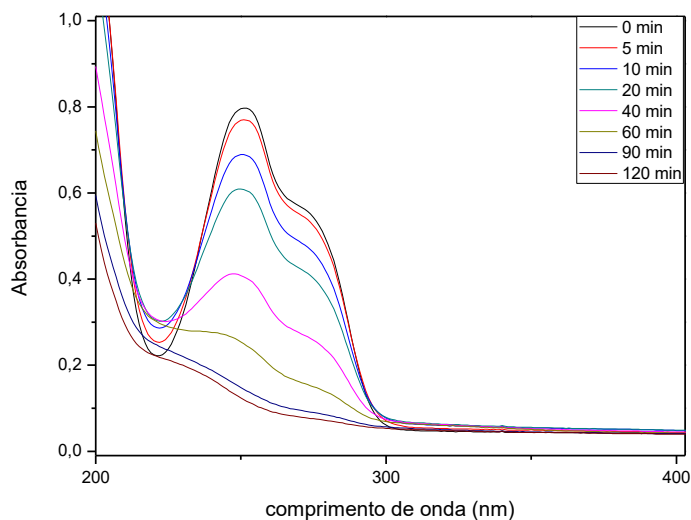


Figura 3: Perfil espectral da solução de pH 4 do fármaco aciclovir $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO₂, com duração de 120 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

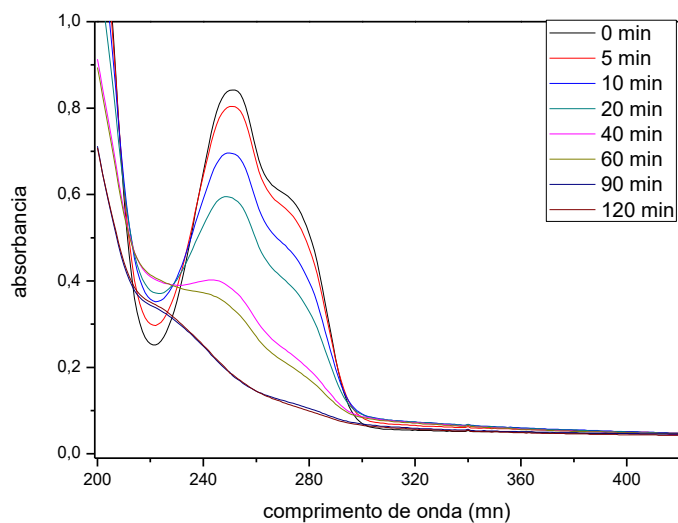


Figura 4: Perfil espectral da solução de pH 6 do fármaco aciclovir $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO_2 , com duração de 120 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

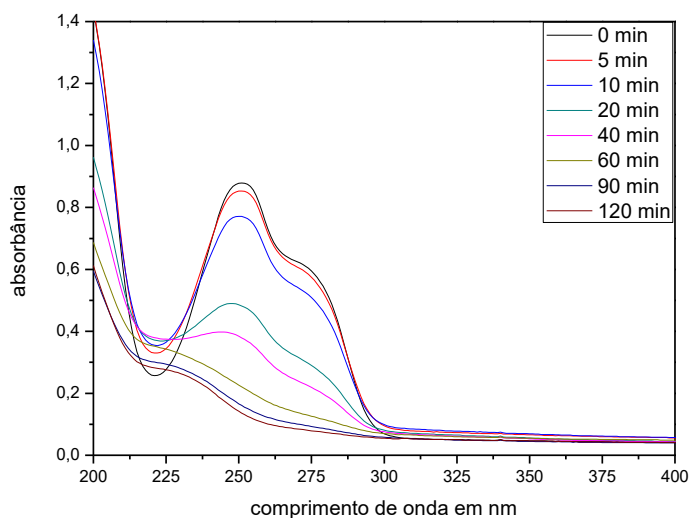


Figura 5: Perfil espectral da solução de pH 8 do fármaco aciclovir $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO_2 , com duração de 120 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

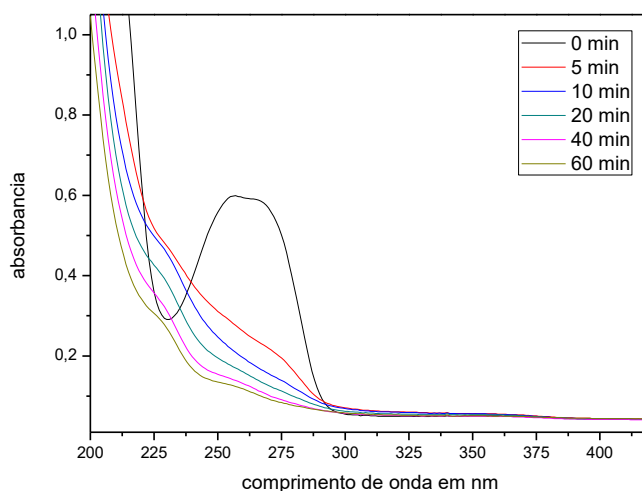


Figura 6: Perfil espectral da solução de pH 10 do fármaco aciclovir $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO_2 , com duração de 60 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

Foi observado durante 120 min de tratamento fotocatalítico sob radiação na região do ultravioleta, um decaimento da banda na região do ultravioleta (250 nm), indicando a degradação do fármaco aciclovir. Contudo, essa degradação é mais acentuada nas condições de pH= 2,0 ou seja, em meio ácido, sendo que, durante o processo de degradação fotocatalítica a solução ocorre a geração de íons H^+ tornando a solução mais ácida. Dessa forma o fármaco é mais fortemente adsorvido na superfície do semicondutor de TiO_2 , uma vez que o mesmo está carregado positivamente em valores de pH mais baixos que 5,0 devido ao potencial de carga zero do titânio, em meio de sulfato, apresenta valor ao redor de 5,3 (ZANONI e colaboradores, 2003). Por outro lado, o processo fotocatalítico em pH básico ocasiona uma acidificação da solução, de acordo com a equação 6, sendo necessário um novo reajuste de pH durante o processo. Porém em meio ácido a acidificação da solução se torna menos impactante em relação ao meio básico, devido a solução já se encontrar em meio ácido. A porcentagem de Esse efeito ocorre devido remoção do fármaco é calculada através da equação: $[(\text{ABS}_{\text{inicial}} - \text{ABS}_{\text{final}}) / \text{ABS}_{\text{inicial}}] \times 100$.

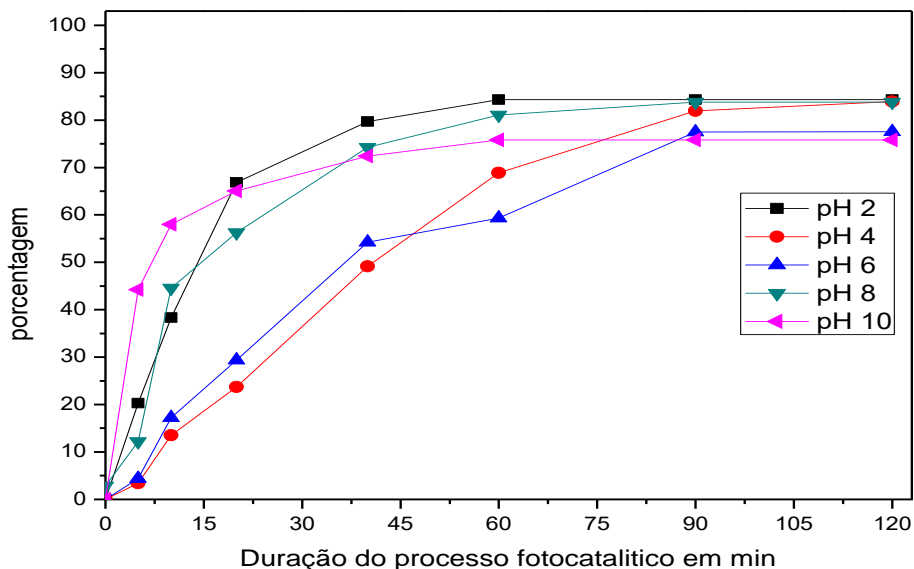


Figura 7: Porcentagem de degradação, em $\lambda_{max}= 250nm$, da solução aquosa do fármaco aciclovir, através da fotocatalise utilizando o semicondutor de Ti/TiO_2 , sob irradiação na região do ultravioleta, em pH ácido ($pH=2,0$ e $4,0$), próximo ao neutro ($pH=6,0$ e $8,0$) e básico ($pH=10,0$) sob irradiação na região do ultra violeta.

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar que no tratamento na solução do fármaco aciclovir através do processo de fotocatalítica indicam uma degradação da molécula, nas condições experimentais realizadas em meio ácido ($pH= 2,0$), alcançando-se 84,31% de degradação em 60 minutos de tratamento.

4.3- Efeito da concentração na degradação fotocatalítica do aciclovir

O estudo do efeito da concentração na degradação do fármaco aciclovir foi realizado utilizando as soluções de concentração $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ e $5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, em pH 2 sendo que todas as reações foram monitoradas durante o período de tratamento. Através deste monitoramento foi possível elaborar os gráficos das linhas espectrais e porcentagem de degradação nas respectivas concentrações conforme abaixo:

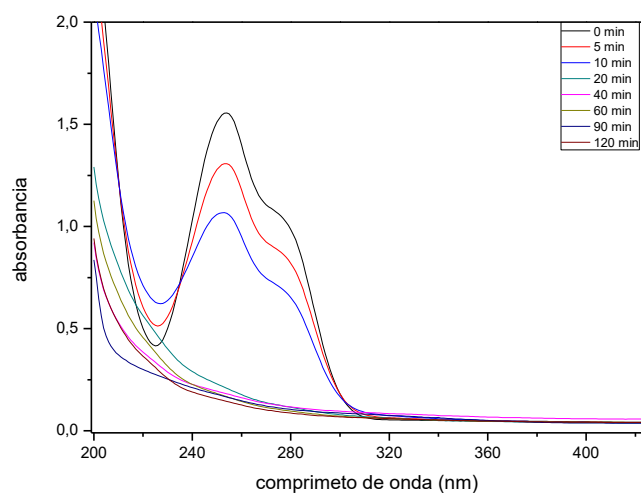


Figura 8: Perfil espectral da solução de pH 2 do fármaco aciclovir $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO_2 , com duração de 120 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

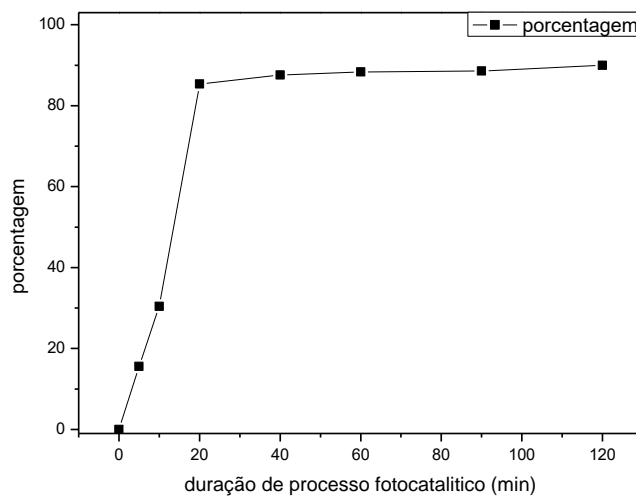


Figura 9: Porcentagem de degradação, em $\lambda_{\text{max}} = 250 \text{ nm}$, da solução aquosa do fármaco aciclovir, através da fotocatalise utilizando o semicondutor de Ti/TiO_2 , sob irradiação na região do ultravioleta, em $\text{pH} = 2,0$.

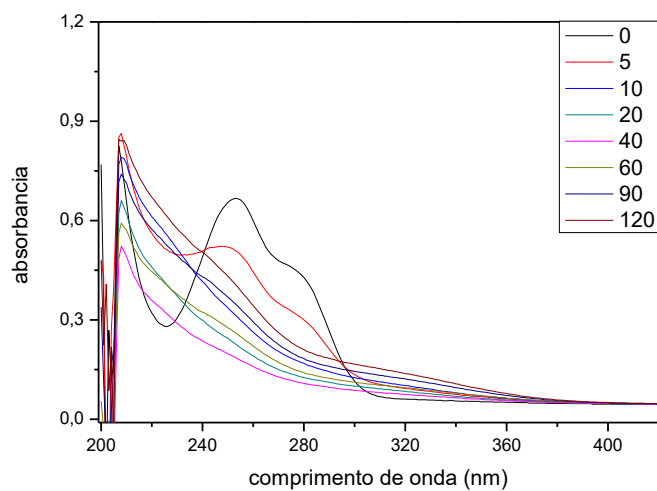


Figura 10: Perfil espectral da solução de pH 2 do fármaco aciclovir $5 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO_2 , com duração de 120 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

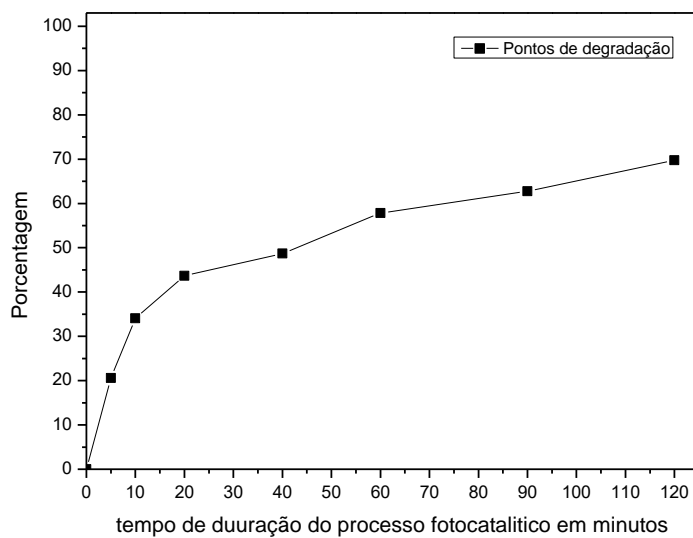


Figura 11: Porcentagem de degradação, em $\lambda_{\text{max}} = 250 \text{ nm}$, da solução aquosa do fármaco aciclovir, através da fotocatalise utilizando o semicondutor de Ti/TiO_2 , sob irradiação na região do ultravioleta, em $\text{pH} = 2,0$.

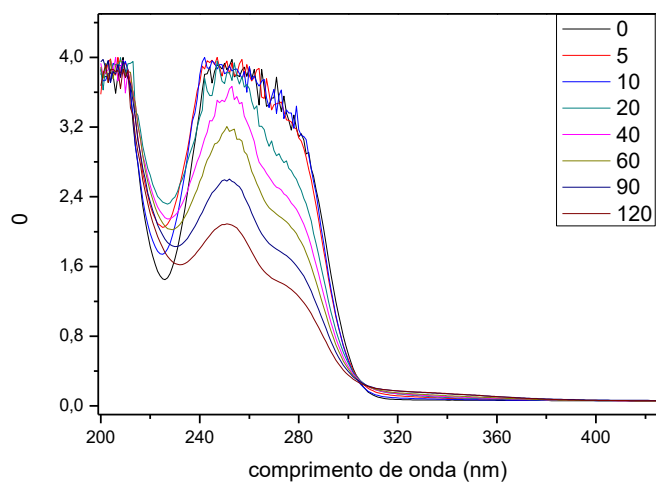


Figura 12: Perfil espectral da solução de pH 2 do fármaco aciclovir $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO_2 , com duração de 120 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

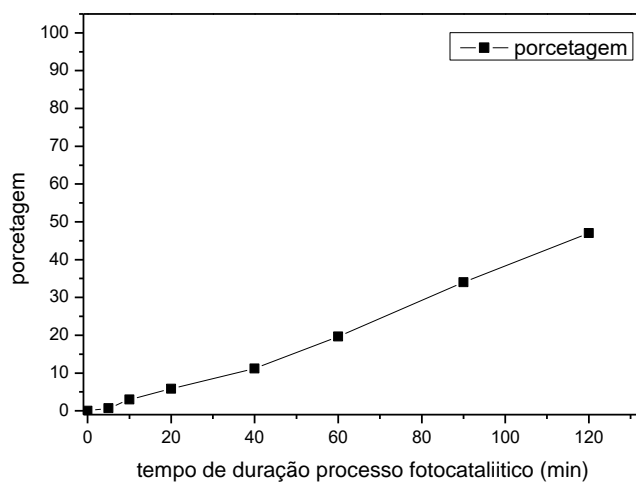


Figura 13: Porcentagem de degradação, em $\lambda_{\text{max}} = 250 \text{ nm}$, da solução aquosa do fármaco aciclovir, através da fotocatalise utilizando o semicondutor de Ti/TiO_2 , sob irradiação na região do ultravioleta, em $\text{pH} = 2,0$.

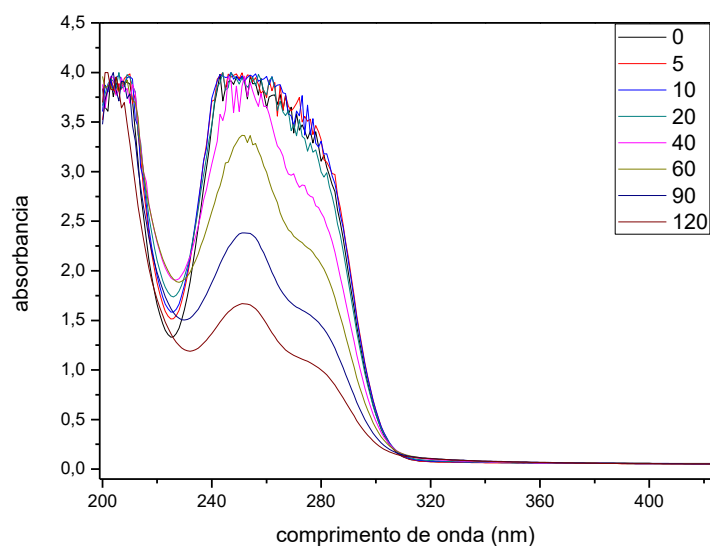


Figura 14: Perfil espectral da solução de pH 2 do fármaco aciclovir $5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO_2 , com duração de 120 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W

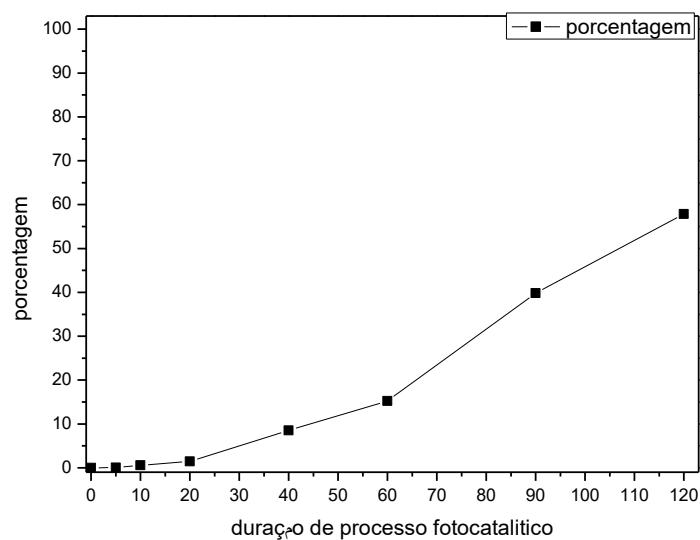


Figura 15: Porcentagem de degradação, em $\lambda_{\text{max}} = 250 \text{ nm}$, da solução aquosa do fármaco aciclovir, através da fotocatalise utilizando o semicondutor de Ti/TiO_2 , sob irradiação na região do ultravioleta, em $\text{pH} = 2,0$.

Foi observado durante 120 min de tratamento fotocatalítico sob radiação na região do ultravioleta, um decaimento da banda na região do ultravioleta (250 nm), indicando a degradação do fármaco aciclovir em todas as soluções analisadas. Contudo, essa degradação é mais acentuada nas condições na concentração $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ (Figuras 8 e 9) alcançando em torno de 85% da degradação do

fármaco no total de 120 minutos de processo fotocatalítico, logo tornando, dessa forma, o tratamento fotocatalítico mais eficiente e consequentemente, sendo adotada para o estudo de fotocatalítico em amostra real enriquecida com o fármaco.

4.4- Estudo de degradação fotocatalítica máxima do fármaco aciclovir

O estudo da degradação fotocatalítica máxima do fármaco aciclovir foi realizado utilizando as soluções de concentração 1×10^{-5} mol L⁻¹ em pH 2, no qual esse estudo teve o objeto de analisar qual a duração do tratamento fotocatalítico necessário para alcançar o mais próximo possível da degradação total do fármaco, sendo que todo o tratamento foi monitorado durante todo período. Através deste monitoramento foi possível elaborar os gráficos das linhas espectrais e porcentagem de degradação nas respectivas concentrações conforme abaixo:

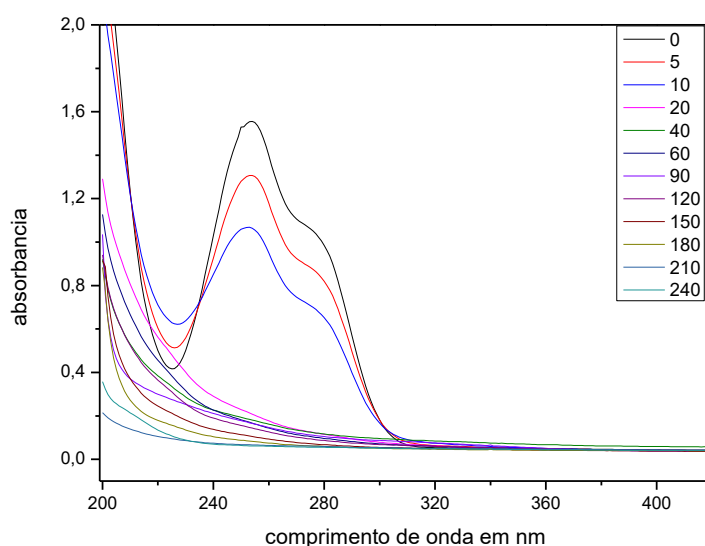


Figura 16: Perfil espectral da solução de pH 2 do fármaco aciclovir 5×10^{-5} mol L⁻¹ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO₂, com duração de 240 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

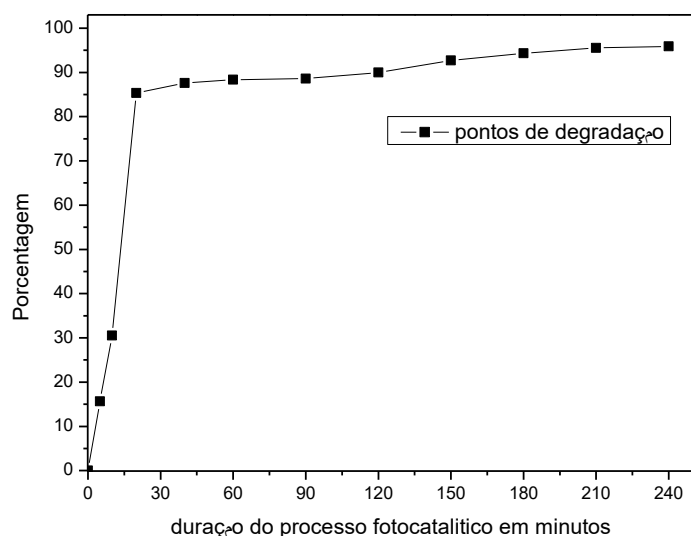


Figura 16: Porcentagem de degradação, em $\lambda_{max}= 250nm$, da solução aquosa do fármaco aciclovir, através da fotocatalise utilizando o semiconductor de Ti/TiO_2 , sob irradiação na região do ultravioleta, em $pH= 2,0$.

A partir da análise dos dados obtidos foi possível observar que no tempo de 210 minutos de tratamento fotocatalítico, alcançou-se a degradação de aproximadamente 95% do fármaco presente em solução, dessa forma é adotado como parâmetro para o estudo em amostra real.

Realizou-se o cálculo da constante de velocidade de reação, no qual a reação de degradação fotocatalítica do fármaco aciclovir é uma reação de pseudo de primeira ordem, ou seja, a velocidade de reação depende somente da concentração do fármaco Aciclovir. Com isso, pode-se concluir que somente um dos reagentes participa do passo limitante. Dessa forma é possível determinar a sua constante através da equação:

$$\ln [A/A_0] = -kt$$

O valor de $\ln [A/A_0]$ foi obtido para a curva, e relação linear foi obtida. A constantes de velocidade k para esse estudo de degradação na concentração de $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ sendo uma reação de primeira ordem, foi obtida através do gráfico de $\ln[A/A_0]$ vs tempo de fotocatalise ($\lambda = 250 \text{ nm}$), nos primeiros 20 minutos de tratamento, obtendo dessa forma a constante $k = -3,4984 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

4.5- Estudo de fotocatalítico em amostra real

Para o estudo de fotocatalítico em amostra real foi preparado uma solução aquosa do fármaco Aciclovir em pH 2 de concentração $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, utilizando como solvente a amostra do afluente da sub-bacia do Jacarecica II, sendo que esse perímetro está situado às margens do Rio Jacarecica, abrangendo os municípios de Malhador Areia Branca e Riachuelo, nos territórios Agreste Central e Grande Aracaju.

Antes da realização do processo de tratamento fotocatalítico na solução aquosa do fármaco Aciclovir, foi necessário a realização da análise espectral da amostra do afluente mencionado, para verificar se poderia sobrepor à linha espectral do fármaco aciclovir no comprimento de onda máximo. Nesse análise foi possível observar que a linha espectral da amostra coletada não sobrepõe na linha espectral do fármaco Aciclovir, sendo visualizado na Figura 17.

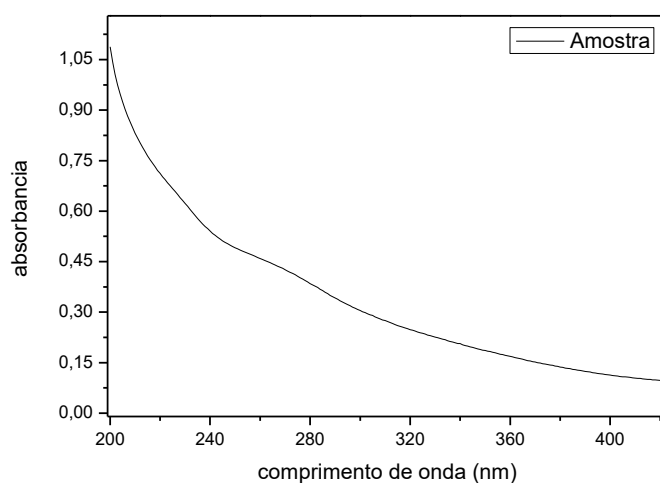


Figura 17: Perfil espectral da amostra coletada na Sub bacia Jacarecica II.

A figura abaixo (Figura18) representa o perfil espectral da solução do fármaco aciclovir preparada a partir da amostra coletada no efluente da sub-bacia do rio Jacarecica II. Essa solução foi preparada através do enriquecimento do fármaco junto a amostra coletada, ou seja, foi adicionado a massa referente a concentração do fármaco aciclovir na amostra real. Com esse enriquecimento houve uma pequena alteração do pH da amostra uma vez que, antes do enriquecimento do fármaco aciclovir a amostra real tem-se pH= 6,95 e logo após ao enriquecimento tem-se pH= 8,03. Dessa forma o pH da solução enriquecida como fármaco foi denominado como pH natural da solução.

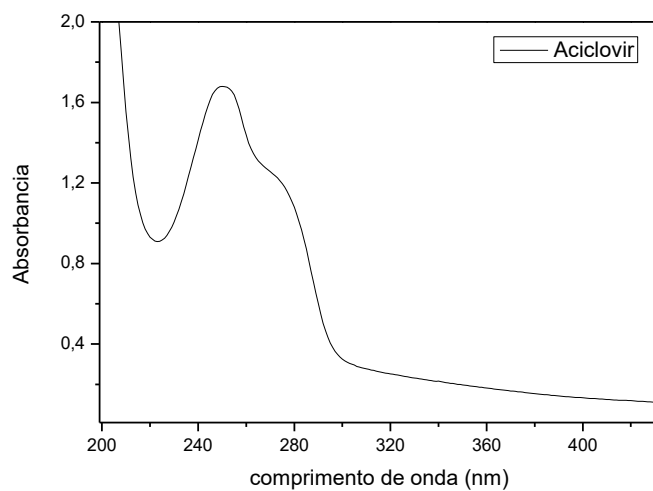


Figura 18: Perfil espectral da solução aquosa do fármaco Aciclovir $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ utilizando a amostra real.

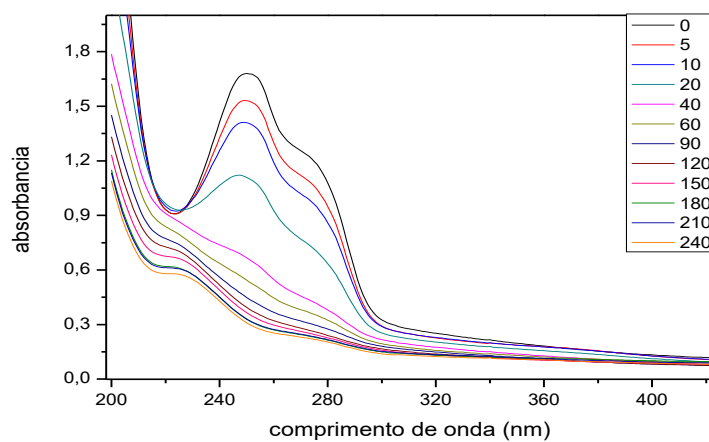


Figura 19: Perfil espectral da solução de pH 2 do fármaco aciclovir $1,0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO_2 , com duração de 240 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

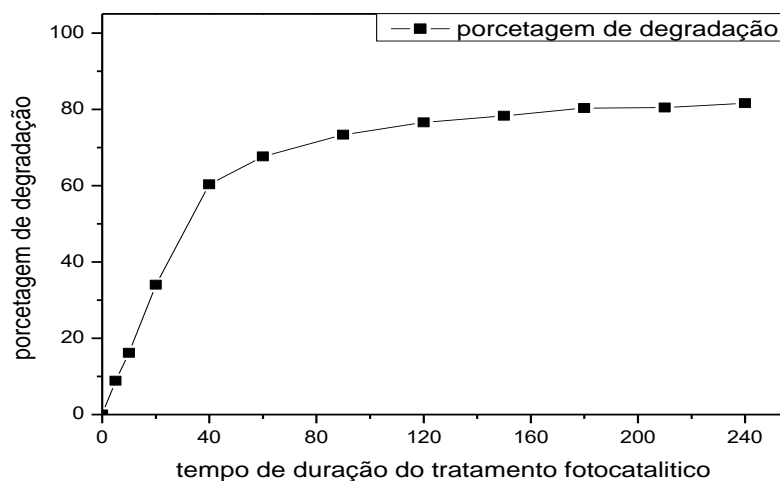


Figura 20: Porcentagem de degradação, em $\lambda_{max}= 250nm$, da solução aquosa do fármaco aciclovir, através da fotocátalise utilizando o semicondutor de Ti/TiO_2 , sob irradiação na região do ultravioleta, em $pH= 2,0$.

Um semicondutor quando exposto à radiação ultravioleta excita elétrons da banda de valência para a banda de condução. Com a formação das cargas positivas são direcionadas para a superfície do semicondutor onde são formados os radicais hidroxila, com alto poder oxidante e úteis na destruição contaminante orgânico. A partir da análise de tratamento fotocatalítico do fármaco Aciclovir em amostra real foi realizado no período total de 240 minutos, no qual obteve cerca de 85% de degradação do fármaco na solução aquosa.

O estudo do processo fotocatalítico em amostra realizado adotado como o pH natural da solução no qual estão presentes como solvente a amostra coletada sobre o efluente da sub bacia do rio Jacarecica e soluto e fármaco aciclovir, sendo que essa solução possui $pH=8$. A partir do processo fotocatalítico, houve a utilização dos dados para serem analisado e elaborado duas figuras no qual a primeira representando a linha espectral e a segunda representando a porcentagem de degradação durante o período de tratamento, conforme as Figuras abaixo (Figura 21 e 22):

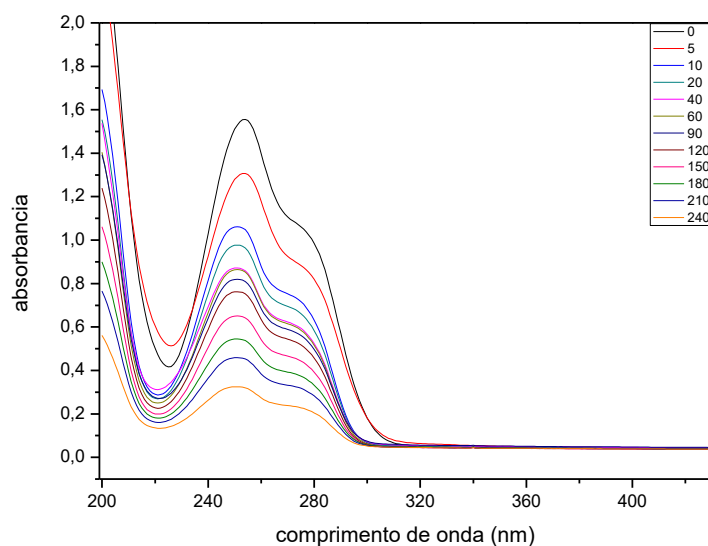


Figura 21: Perfil espectral da solução de pH 2 do fármaco aciclovir $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotocatalise heterogênea utilizando o catalisador de Ti/TiO_2 , com duração de 240 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

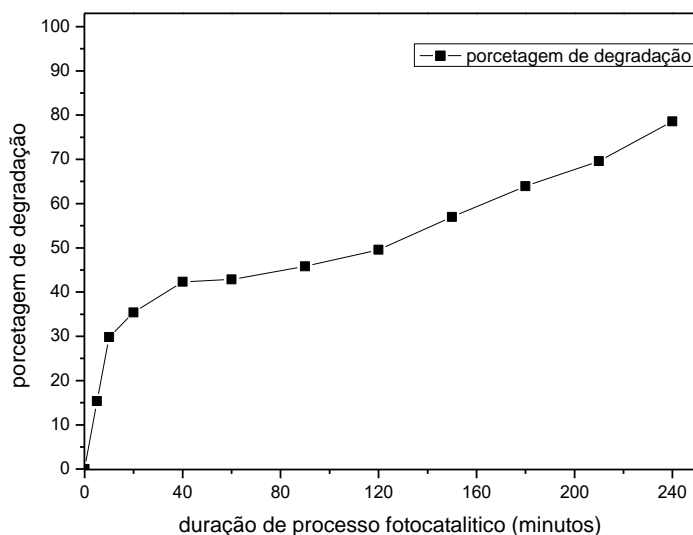


Figura 22: Porcentagem de degradação, em $\lambda_{\text{max}} = 250 \text{ nm}$, da solução aquosa do fármaco aciclovir, através da fotocatalise utilizando o semicondutor de Ti/TiO_2 , sob irradiação na região do ultravioleta, em $\text{pH} = 8,0$.

A partir dos resultados obtidos através do processo fotocatalítico na amostra real de pH natural, é possível observar que houve uma degradação do fármaco aciclovir aproximada a 80% em 240 minutos de tratamento fotocatalítico que se for comparada aos resultados obtidos através do processo fotocatalítico na amostra real em pH 2 que obteve uma porcentagem de degradação aproximada a 85%, comprova o estudo realizado anteriormente, mostrando que através do parâmetro de pH é possível obter uma maior eficácia do processo fotocatalítico.

Contudo, necessita-se de mais tempo de tratamento para saber se há a possibilidade de 100% de degradação do fármaco em meio a uma amostra real.

O estudo de degradação em amostra real também foi realizado através do processo fotolítico sob irradiação ultravioleta, sendo que esse estudo foi realizado utilizando a solução da amostra real enriquecida com o fármaco em pH 2 com monitoramento molecular UV/VIS. Através deste monitoramento foi possível elaborar os gráficos das linhas espectrais e porcentagem de degradação nas respectivas concentrações conforme Figuras 24 e 25, respectivamente.

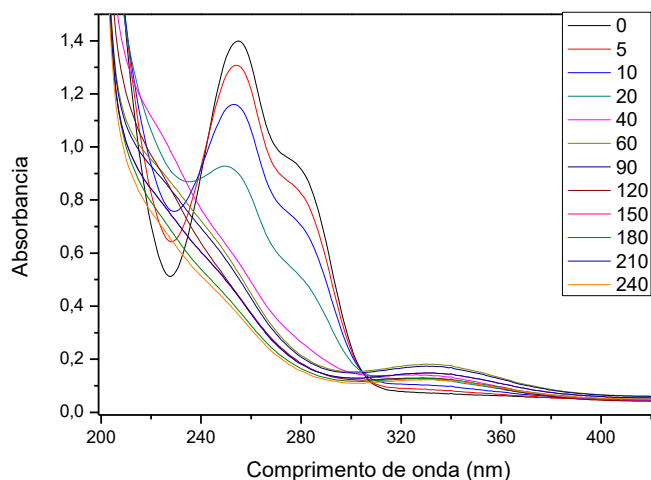


Figura 23: Perfil espectral da solução de pH 2 do fármaco aciclovir $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ através do processo de fotólise, com duração de 240 min sob irradiação de lâmpada de mercúrio de 125 W.

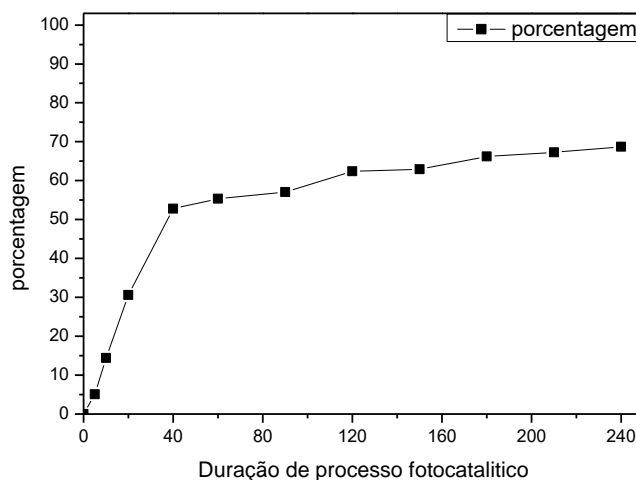


Figura 24: Porcentagem de degradação, em $\lambda_{\text{max}} = 250 \text{ nm}$, da solução aquosa do fármaco aciclovir, através da fotólise, sob irradiação na região do ultravioleta, em pH= 2,0.

O processo fotocatalítico se torna um método mais eficiente sendo comparado com o processo fotolítico, pois através dos gráficos é possível

observar a diferentes porcentagens de degradação do fármaco aciclovir no qual mostra uma porcentagem de degradação do fármaco presente na solução real em pH 2 através do processo fotolítico aproximada em 65% enquanto que a porcentagem de degradação do fármaco na solução real em pH 2 do processo fotocatalítico é aproximadamente 85% e que desta forma comprova a importância e utilidade do catalisador nesse processo.

5- CONCLUSÃO

No estudo de degradação fotocatalítica do fármaco aciclovir utilizando o fotocatalisador de Ti/TiO₂ foram realizados os processos de otimizações para uma melhor eficiência do método utilizado. As otimizações realizadas neste trabalho foram ajuste de pH, estudo de concentração, período máximo de duração do processo fotocatalítico, sendo que a degradação do fármaco aciclovir obteve um resultado próximo ao 100% em soluções padrões utilizando a solução em pH 2, na concentração de $1,0 \times 10^{-5}$ mol L⁻¹ durante um período de 240 minutos.

A partir dos resultados obtidos é possível observar que o processo de Fotocatálise Heterogênea utilizando o fotocatalisador de Ti/TiO₂ é eficiente uma vez que, com os estudos realizados foi possível alcançar 95% de degradação do fármaco aciclovir durante 240 minutos de processo de tratamento e para amostra real foi obtido aproximadamente 85% de degradação do fármaco Aciclovir. O processo de degradação fotocatalítica do fármaco aciclovir ocorre em reação representada pela equação de pseudo de primeira ordem obtendo dessa forma uma constante de velocidade de reação de $k = -3,4984 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. Frente ao tratamento fotocatalítico do aciclovir em amostra real, o tratamento fotolítico sob irradiação ultravioleta apresentou uma menor eficiência de degradação do aciclovir, alcançando aproximadamente 65% em 240 minutos de tratamento.

De acordo com os resultados apresentados no desenvolvimento desse projeto, pode-se concluir que o processo fotocatalítico sob irradiação na região do ultravioleta, utilizando semicondutor de Ti/TiO₂, poderia ser utilizado como um processo alternativo na degradação do fármaco em amostras reais, sob baixas concentrações.

6- Perspectivas

O projeto sobre o estudo de degradação utilizando a fotocatálise heterogênea há uma extensão, no qual busca uma melhor otimização do processo de degradação do fármaco aciclovir para obter melhores resultados em um menor custo de tempo. A extensão será enviada como anexo, sendo que nela apresenta a justificativa e objetos. Dentre os objetivos se destacam:

- Avaliar diferentes potências da fonte de irradiação (lâmpada de mercúrio) na degradação do fármaco em amostras;

Monitorar a degradação do aciclovir em amostras reais através das análises de carbono orgânico total e CLAE-DAD, além da espectrofotometria UV-Vis molecular.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FLÓRIO, V. B. (2012). PRINCIPAIS CONTAMINANTES AMBIENTAIS PRESENTES EM MEDICAMENTOS E SEUS GRUPOS FARMACOLÓGICOS.
- Gláucia Maria Ferreira Pinto, K. R. (2014). Estudo do descarte residencial de medicamentos vencidos na região de Paulínia.
- Núbia Natália de Brito, V. B. (2012). PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO E SUA APLICAÇÃO AMBIENTAL. *revista eletrônica de engenharia civil*, 36-47.
- Bennett, D. M. (2014). [No Title]. *British Journal of Psychiatry*, 205(01), 76–77.
<https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a>
- Brito, J., Fraga, L. E., Hora, P., Garcia, A. B., Garcia, H. L., Lara, M. De, & Macedo, P. De. (2014). Determinação Direta Do Aciclovir Em Leite Materno Pelo Uso De Um Sensor Eletroquímico, 77–81.
<https://doi.org/10.14684/SHEWC.14.2014.77-81>
- Lopes, B. C. (2014). Efeitos da fotólise e fotocatalise heterogênea sobre a dinâmica de fármacos presentes em esgoto sanitário tratado biologicamente, 109.
- FREITAS, J. R. L.; Caracterização dos produtos de degradação do captopril por espectrometria de massas de alta resolução e avaliação da toxicidade após a fotocatalise heterogênea (TiO₂/UV-C). 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto, 2014.
- NIHI, F. Investigação dos efeitos antivirais aciclovir e ganciclovir sobre o desenvolvimento reprodutivo de ratos machos expostos in útero. 2012. 70 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia) - Universidade Federal do Paraná – Curitiba, 2012.
- Brito, C. N.; Araújo, E. G.; Martínez-Huitle, C. A. *Rev. Virtual Quim.*, 2015, 7 (5), 1617-1634. Data de publicação na Web: 25 de agosto de 2015
- Bautitz, I. R. (2010). DEGRADAÇÃO DE FÁRMACOS POR PROCESSO FOTO-FENTON E.
- Brito, J., Fraga, L. E., Hora, P., Garcia, A. B., Garcia, H. L., Lara, M. De, & Macedo, P. De. (2014). Determinação Direta Do Aciclovir Em Leite Materno Pelo Uso De Um Sensor Eletroquímico. 77–81.
<https://doi.org/10.14684/SHEWC.14.2014.77-81>
- dos Prazeres, K. C., Miranda, A. Ca., Santana, J. Ca. C., & da Silva Filho, S. C. (2016). Matriz de Risco da Contaminação de Efluente de Esgoto Contaminado por Fármacos. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 3–19.
- Lopes, B. C. (2014). Efeitos da fotólise e fotocatalise heterogênea sobre a dinâmica de fármacos presentes em esgoto sanitário tratado biologicamente. 109.
- Torres, N. H., Américo, J. H., Ferreira, L. F. R., Nazaro, C., Maranhão, L. A., Vilca, F. Z., & Tornisiello, V. L. (2012). Fármacos no ambiente – revisão. 67–75.
- Vettorello, G., Brandt, V., Dallazen Maria, Kunh, D., Etgeton, H., Spellmeyer, J., ... Bautitz, I. R. (2010). DEGRADAÇÃO DE FÁRMACOS POR PROCESSO FOTO-FENTON E.
- Bennett, D. M. (2014). [No Title]. *British Journal of Psychiatry*, 205(01), 76–77.

- <https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a>
- Brito, J., Fraga, L. E., Hora, P., Garcia, A. B., Garcia, H. L., Lara, M. De, & Macedo, P. De. (2014). Determinação Direta Do Aciclovir Em Leite Materno Pelo Uso De Um Sensor Eletroquímico. 77–81.
<https://doi.org/10.14684/SHEWC.14.2014.77-81>
- Cristina, M., Oehninger, I. D. M., Caroline, J., Willig, M., & Ferreira, M. (2017). Utilização de fotocatalise heterogênea para a degradação de contaminantes emergentes : cloridrato de norfloxacin.
- De Mestrado, D., & Salcedo, G. M. (2014). UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS-EQA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA E AMBIENTAL-PPGQTA Estudo analítico da degradação de fármacos por fotocatalise heterogênea em solução aquosa. Retrieved from
<https://lacom.furg.br/images/stories/dissertacao-gabriela-marquetotti-salcedo.pdf>
- dos Prazeres, K. C., Miranda, A. Ca., Santana, J. Ca. C., & da Silva Filho, S. C. (2016). Matriz de Risco da Contaminação de Efluente de Esgoto Contaminado por Fármacos. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 3–19.
- Haider, A. J., Al-Anbari, R. H., Kadhim, G. R., & Salame, C. T. (2017). Exploring potential Environmental applications of TiO₂ Nanoparticles. Energy Procedia, 119, 332–345. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.117>
- Lima, G. G. C., Lima, C. A. P., Vieira, F. F., & Silva, E. M. (2014). Estudo comparativo da aplicação de nanopartículas de TiO₂ e ZnO na descoloração fotocatalítica de uma solução de corante empregando radiação UV artificial. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, 9(1), 22–27.
- Lopes, B. C. (2014). Efeitos da fotólise e fotocatalise heterogênea sobre a dinâmica de fármacos presentes em esgoto sanitário tratado biologicamente. 109.
- Torres, N. H., Américo, J. H., Ferreira, L. F. R., Nazaro, C., Maranhão, L. A., Vilca, F. Z., & Tornisiello, V. L. (2012). Fármacos no ambiente – revisão. 67–75.
- Traps, C. D. E., Aplicações, E. A., & Química, E. M. (2019). Revisão. 42(3), 329–345.
- UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM RADIAÇÃO UV ARTIFICIAL E DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO₂) COMO CATALISADOR HETEROGÊNEA COM RADIAÇÃO UV ARTIFICIAL E DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO₂) COMO CATALISADOR. (2015).
- Vettorello, G., Brandt, V., Dallazen Maria, Kunh, D., Etgeton, H., Spellmeyer, J., ... Hoehne, L. (2017). Emergente Micropoluentes in Water - the New. Revista Caderno Pedagógico, 14, 72–83.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1410>
- BASSETTO CARRA , JÉSSICA . DEGRADAÇÃO DO FÁRMACO CIPROFLOXACINO POR FOTOCATÁLISE UTILIZANDO FILMES DE TiO₂ SINTETIZADOS ELETROQUIMICAMENTE. Orientador: MARCIÉLI FABRIS. 2016. TCC (Bacharelado em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

8- OUTRAS ATIVIDADES

Durante esse período também foi realizado a matrícula em disciplinas presenciais no curso, sendo elas: Físico-química III, estágio supervisionado no ensino de química II, Química inorgânica I, Inglês Instrumental e Temas Estruturadores no Ensino de Química II.